

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000338353
PUBLICATION DATE : 08-12-00

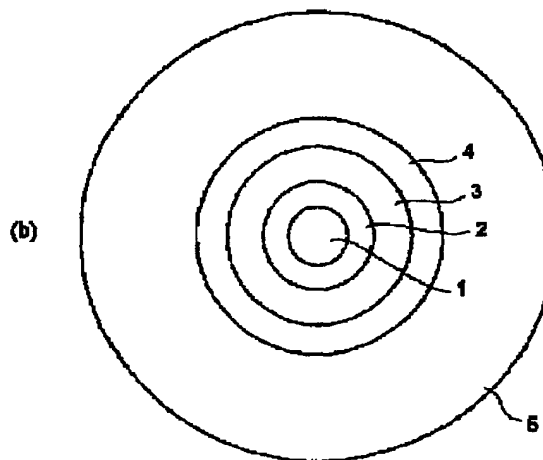
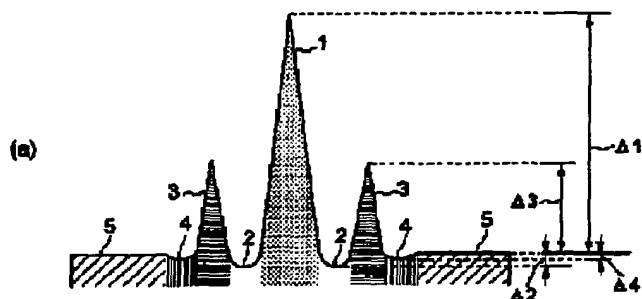
APPLICATION DATE : 30-11-99
APPLICATION NUMBER : 11339417

APPLICANT : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE;

INVENTOR : MORIHIRA HIDEYA;

INT.CL. : G02B 6/22 C03B 37/018 G02B 6/00

TITLE : DISPERSION SHIFT OPTICAL FIBER
AND ITS PRODUCTION



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion shift optical fiber which is large in a mode field diameter and is small in a dispersion slope in a use wavelength band.

SOLUTION: This optical fiber is formed by covering the outer peripheral side of a center core 1, covering the outer peripheral side of a first side core 2 with a second side core 3, covering the outer peripheral side of the second side core 3 with an inside clad 4 and covering the outer peripheral side of the inside clad 4 with an outside clad 5. When the specific refractive index difference of the center core 1 with respect to the outside clad 5 is defined as $\Delta 1$, the specific refractive index difference of the first side core 2 with respect to the outside clad 5 as $\Delta 2$, the specific refractive index difference of the second side core 3 with respect to the outside clad 5 as $\Delta 3$ and the specific refractive index difference of the inside clad 4 with respect to the outside clad 5 as $\Delta 4$, $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 > \Delta 2$ is set and $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$, $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0$, $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$, $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ are set.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-338353

(P2000-338353A)

(43)公開日 平成12年12月8日(2000.12.8)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
G 0 2 B 6/22		G 0 2 B 6/22	2 H 0 5 0
C 0 3 B 37/018		C 0 3 B 37/018	A 4 G 0 2 1
G 0 2 B 6/00	3 5 6	G 0 2 B 6/00	3 5 6 A

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平11-339417

(22)出願日 平成11年11月30日(1999.11.30)

(31)優先権主張番号 特願平11-79217

(32)優先日 平成11年3月24日(1999.3.24)

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 川崎 光広

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72)発明者 森平 英也

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74)代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

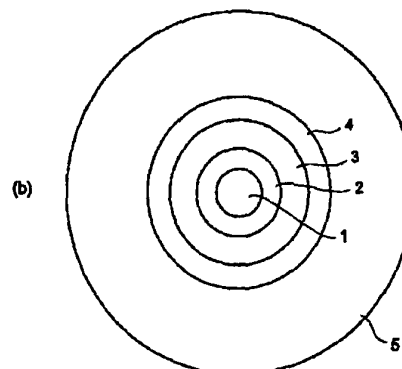
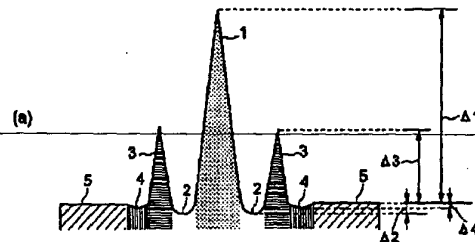
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 分散シフト光ファイバおよびその製造方法

(57)【要約】

【課題】 モードフィールド径が大きく、かつ、使用波長帯域における分散スロープが小さい分散シフト光ファイバを提供する。

【解決手段】 センタコア1の外周側を第1サイドコア2で覆い、第1サイドコア2の外周側を第2サイドコア3で覆い、第2サイドコア3の外周側を内部クラッド4で覆い、内部クラッド4の外周側を外部クラッド5で覆う。センタコア1の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、第1サイドコア2の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、第2サイドコア3の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 3$ とし、内部クラッド4の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 4$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 > \Delta 2$ とし、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0.03\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 センタコアの外周側を第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの外周側を第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの外周側を内部クラッドで覆い、該内部クラッドの外周側を外部クラッドで覆って形成される分散シフト光ファイバであって、前記センタコアの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ とし、前記内部クラッドの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 4$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ または $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ と成しており、かつ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ と成しており、かつ、 $\Delta 2 \leq -0.05\%$ と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満たし、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満たしていることを特徴とする分散シフト光ファイバ。

【請求項2】 センタコアの径が $3 \sim 8 \mu\text{m}$ で、第1サイドコアの径が前記センタコアの径の $1.3 \sim 2.5$ 倍、第2サイドコアの径が前記センタコアの $2.5 \sim 4$ 倍、内部クラッドの径が $1.4 \sim 4.8 \mu\text{m}$ で、かつ、前記センタコアの径の $4.5 \sim 8$ 倍と成していることを特徴とする請求項1記載の分散シフト光ファイバ。

【請求項3】 内部クラッドの組成は外部クラッドの組成と実質的に同一としたことを特徴とする請求項1又は請求項2記載の分散シフト光ファイバ。

【請求項4】 センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアと内部クラッドには、いずれもゲルマニウムとフッ素がドーパされており、前記センタコアと前記第1サイドコアと前記第2サイドコアと前記内部クラッドにそれぞれドーパされている前記ゲルマニウムの単位体積当たりのドーパ量が互いに異なることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の分散シフト光ファイバ。

【請求項5】 センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアには、いずれもゲルマニウムとフッ素がドーパされており、前記センタコアと前記第1サイドコアと前記第2サイドコアにそれぞれドーパされている前記ゲルマニウムの単位体積当たりのドーパ量が互いに異なることを特徴とする請求項3記載の分散シフト光ファイバ。

【請求項6】 請求項1または請求項2または請求項4記載の分散シフト光ファイバの製造方法であって、センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアと内部クラッドのうち一部又は全部をVAD法により製造することを特徴とする分散シフト光ファイバの製造方法。

【請求項7】 請求項3または請求項5記載の分散シフト光ファイバの製造方法であって、センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアのうち一部又は全部をVAD法により製造することを特徴とする分散シフト光ファイ

バの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば波長多重伝送用に用いられる分散シフト光ファイバおよびその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信の伝送網として、波長 $1.3 \mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバが世界中に敷設されている。最近においては、情報社会の発展により、通信情報量が飛躍的に増大する傾向にあり、このような情報の増大化に伴い、波長多重伝送(WDM伝送)が通信分野に広く受け入れられ、今や波長多重伝送の時代を迎えている。波長多重伝送は、光通信の波長が一波長でなく、複数の波長に分割して複数の光信号を伝送する方式であり、大容量高速通信に適した光伝送方式である。

【0003】しかしながら、既設の $1.3 \mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバを使用し、 $1.3 \mu\text{m}$ の波長帯を用いて波長多重光通信を行う場合には、通常の光増幅器の利得帯域である $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯(例えば $1.52 \sim 1.62 \mu\text{m}$)と波長域が一致しないため、光増幅器が使用できず、長距離光通信に支障を来すという問題があり、そのため、最近においては、既設の $1.3 \mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つ伝送シングルモード光ファイバを用いて、 $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯での波長多重光通信が行われている。

【0004】しかしながら、 $1.3 \mu\text{m}$ の波長帯に零分散を持つ伝送用シングルモード光ファイバを用いて $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯で光通信を行うと、既設の伝送用シングルモード光ファイバは、この $1.55 \mu\text{m}$ の波長帯では、 $16 \sim 18 \text{ps/nm/km}$ 程度の正の分散と、 $0.07 \sim 0.09 \text{ps/nm}^2/\text{km}$ 正の分散スロープを持つので、伝送用シングルモード光ファイバに光信号が伝搬するにつれ、波長多重される各波長の信号の波形の歪みが大きくなり、受信側で信号の分離が困難になり、光通信の品質が低下し、光通信の信頼性が失われるという問題が生じた。

【0005】そこで、最近においては、このような問題を解消すべく、零分散波長を $1.31 \mu\text{m}$ 付近から $1.55 \mu\text{m}$ 付近にシフトさせた分散シフト光ファイバを用いて光伝送を行う方式が提案されている。この $1.55 \mu\text{m}$ の波長に零分散を持つ分散シフト光ファイバを用いて、 $1.55 \mu\text{m}$ の波長によって光信号の伝送を行うと、分散による波形の歪みのない信号伝送が可能となる。

【0006】図5には、このような分散シフト光ファイバの屈折率分布構造が示されている。同図に示すように、従来の分散シフト光ファイバは、センタコア1の周りをセンタコア1よりも屈折率が小さい第1サイドコア

2で覆い、第1サイドコア2の周りを第1サイドコア2よりも屈折率が小さいクラッド5で覆って形成されている。クラッド5は、例えば純石英により形成されており、代表的な値としては、クラッド5に対するセンタコア1の比屈折率差 $\Delta 1'$ が0.9%、クラッド5に対する第1サイドコア2の比屈折率差 $\Delta 2'$ が0.2%である。

$$\Delta 1' = \{(n_1^2 - n_0^2) / 2n_1^2\} \times 100 \dots \dots (1)$$

【0009】

$$\Delta 2' = \{(n_2^2 - n_0^2) / 2n_2^2\} \times 100 \dots \dots (2)$$

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ところで、波長多重伝送は、複数の互いに異なる波長の光を多重して伝送する伝送方式であるため、例えば波長1.53 μm ～1.58 μm といったように、ある幅を持った帯域の波長を光ファイバによって伝送させることが必要である。そのため、分散シフト光ファイバを用いて、波長1.55 μm 帯の信号の波長多重光伝送を行うときに、波長1.55 μm の分散のみならず、その近辺の他の波長の信号に対しても分散ができるだけ生じないようにし、それにより分散により生じる波形の歪みを低減するため、波長1.55 μm 帯における分散シフト光ファイバの分散スロープを0.11ps/nm²/km以下（望ましくは0.06ps/nm²/km以下）とすることが要求されている。

【0011】また、波長多重伝送用として分散シフト光ファイバを用いる場合、非線形効果の低減および、偏波

【0007】なお、前記比屈折率差 $\Delta 1'$ 、 $\Delta 2'$ は、真空の屈折率を1としたときのセンタコア1の比屈折率を n_1 、第1サイドコア2の比屈折率を n_2 、クラッド5の比屈折率を n_0 としたとき、次式(1)、(2)により定義される。

【0008】

分散抑制のために、モードフィールド径を8.2 μm 以上（望ましくは9.5 μm 以上）とすることが要求されている。

【0012】しかしながら、従来の分散シフト光ファイバの特性は、例えば表1に示すような特性であり、モードフィールド径が小さく、上記のような要求特性を満足することができなかった。なお、表1において、分散スロープは、波長1.53 μm ～1.58 μm における平均値を示し、曲げ損失は、曲げ半径10mm、測定波長1.55 μm での値を示している。また、表1には、従来の分散シフト光ファイバの代表的な特性を示しているが、従来の分散シフト光ファイバにおいて、モードフィールド径を大きくしようとすると、分散スロープが大きくなってしまいうため、やはり上記要求特性を満足することはできなかった。

【0013】

【表1】

項目	代表値	要求特性
モードフィールド径 (μm)	8.0	≥ 8.2
零分散波長 (μm)	1.55	約1.58
分散スロープ (ps/nm ² /km)	0.07	≤ 0.06
カットオフ波長 (μm)	1.35	≤ 1.55
曲げ損失 (dB/m)	1.0	≤ 1.0

【0014】なお、分散シフト光ファイバにおいては、その零分散波長付近で四光波混合という非線形効果が発生するため、波長多重伝送用の分散シフト光ファイバには、その使用波長帯に零分散波長が存在しないことも要求される。

【0015】本発明は、上記従来の課題を解決するためになされたものであり、その目的は、モードフィールド径が大きく、かつ、使用波長帯域における波長分散および分散スロープが小さいために、波長多重伝送用として用いたときに、非線形効果や偏波分散や波長分散により生じる歪みを低減することができる分散シフト光ファイバおよびその製造方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するた

めの手段としている。すなわち、分散シフト光ファイバの本第1の発明は、センタコアの外周側を第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの外周側を第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの外周側を内部クラッドで覆い、該内部クラッドの外周側を外部クラッドで覆って形成される分散シフト光ファイバであって、前記センタコアの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ とし、前記内部クラッドの前記外部クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 4$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ または $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ と成しており、かつ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ と成しており、かつ、 $\Delta 2 \leq -$

0.05%と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満たし、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満たしている構成をもって課題を解決する手段としている。

【0017】また、分散シフト光ファイバの本第2の発明は、上記本第1の発明の構成に加え、前記センタコアの径が $3 \sim 8 \mu\text{m}$ で、第1サイドコアの径が前記センタコアの径の1.3倍 ~ 2.5 倍、第2サイドコアの径が前記センタコアの2.5 ~ 4 倍、内部クラッドの径が $14 \sim 48 \mu\text{m}$ で、かつ、前記センタコアの径の4.5 ~ 8 倍と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0018】さらに、分散シフト光ファイバの本第3の発明は、上記本第1または第2の発明の構成に加え、前記内部クラッドの組成は外部クラッドの組成と実質的に同一とした構成をもって課題を解決する手段としている。

【0019】さらに、分散シフト光ファイバの本第4の発明は、上記本第1または第2の発明の構成に加え、前記センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアと内部クラッドには、いずれもゲルマニウムとフッ素がドーパされており、前記センタコアと前記第1サイドコアと前記第2サイドコアと前記内部クラッドにそれぞれドーパされている前記ゲルマニウムの単位体積当たりのドーパ量が互いに異なる構成をもって課題を解決する手段としている。

【0020】さらに、分散シフト光ファイバの本第5の発明は、上記本第3の発明の構成に加え、前記センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアには、いずれもゲルマニウムとフッ素がドーパされており、前記センタコアと前記第1サイドコアと前記第2サイドコアにそれぞれドーパされている前記ゲルマニウムの単位体積当たりのドーパ量が互いに異なる構成をもって課題を解決する手段としている。

【0021】さらに、本発明の分散シフト光ファイバの第1の製造方法は、上記本第1または第2または第4の発明の分散シフト光ファイバの製造方法であって、センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアと内部クラッドのうち一部又は全部をVAD法により製造する構成をもって課題を解決する手段としている。

【0022】さらに、本発明の分散シフト光ファイバの第2の製造方法は、上記本第3または第5の発明の分散シフト光ファイバの製造方法であって、センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアのうち一部又は全部をVAD法により製造する構成をもって課題を解決する手段としている。

【0023】本発明者は、上記課題を解決するために、分散シフト光ファイバのプロファイル構成を様々に形成し、各プロファイル構成の分散シフト光ファイバの零分散波長および、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における分散スロー

プとモードフィールド径等の特性を検討したところ、上記本発明の分散シフト光ファイバの屈折率プロファイル構成にすることにより、上記課題を満足できる特性の分散シフト光ファイバを形成することができた。

【0024】具体的には、光ファイバの外周側に設けられている外部クラッドに対するセンタコアの比屈折率差 $\Delta 1$ と、センタコアの外周側を覆う第1サイドコアの外部クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 2$ と、第1サイドコアの外周側を覆う第2サイドコアの外部クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 3$ と、第2サイドコアの外周側を覆う内部クラッドの外部クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 4$ をそれぞれ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq -0.03\%$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ とし、さらに、 $\Delta 2 \leq -0.05\%$ と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満たし、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満たした状態で、光ファイバの各領域の比屈折率差の関係を、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ とすると、前記モードフィールド径を $9.5 \mu\text{m}$ 以上とし、前記分散スロープを $0.11 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の光ファイバを容易に得ることができ、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ とすると、前記モードフィールド径を $8.2 \mu\text{m}$ 以上とし、前記分散スロープを $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の光ファイバを容易に得ることができた。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。図1には、本発明に係る分散シフト光ファイバの第1実施形態例の屈折率プロファイルと横断面図が示されている。

【0026】同図に示すように、本実施形態例の分散シフト光ファイバは、センタコア1の外周側を第1サイドコア2で覆い、第1サイドコア2の外周側を第2サイドコア3で覆い、第2サイドコア3の外周側を内部クラッド4で覆い、内部クラッド4の外周側を外部クラッド5で覆って形成されており、これらの各構成要素が同心円状に形成されている。なお、本実施形態例において、外部クラッド5は従来例のクラッド5に対応するものであるため、外部クラッドには従来例のクラッドと同一符号である5を付してある。

【0027】また、センタコア1の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、第1サイドコア2の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、第2サイドコア3の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 3$ とし、内部クラッド4の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 4$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ と成しており、かつ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq -0.03\%$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ と成しており、さらに、 $\Delta 2 \leq -0.05\%$

と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満たし、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満たしている。表2には、前記各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ の代表的な値が示されている。

【0028】

【表2】

項目	代表値 (%)
$\Delta 1$	0.8
$\Delta 2$	-0.10
$\Delta 3$	0.3
$\Delta 4$	-0.02

$$\Delta 1 = \{ (n_1^2 - n_5^2) / 2n_1^2 \} \times 100 \cdots \cdots (3)$$

【0031】

$$\Delta 2 = \{ (n_2^2 - n_5^2) / 2n_2^2 \} \times 100 \cdots \cdots (4)$$

【0032】

$$\Delta 3 = \{ (n_3^2 - n_5^2) / 2n_3^2 \} \times 100 \cdots \cdots (5)$$

【0033】

$$\Delta 4 = \{ (n_4^2 - n_5^2) / 2n_4^2 \} \times 100 \cdots \cdots (6)$$

【0034】ここで、図1の(a)に示すような屈折率分布プロファイルを有する分散シフト光ファイバにおいて、第1サイドコア2の外部クラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 2$ を正の値とすると、分散スロープが大きくなり、内部クラッド4の外部クラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 4$ を正の値とすると、モードフィールド径の拡大が不十分となり、かつ、カットオフ波長が信号光の波長より大きくなり、シングルモード伝送不可能となる。また、比屈折率差 $\Delta 2$ 、 $\Delta 4$ がいずれも -0.05% より大きい場合は、モードフィールド径を大きくして分散スロープを小さくすることが困難となる。そこで、本実施形態例では、表2に示したように、 $\Delta 2 \leq 0$ 、 $\Delta 4 \leq 0$ 、かつ、 $\Delta 2$ と $\Delta 4$ の少なくとも一方が -0.05% 以下となるようにした。

【0035】また、図1の(a)に示すような屈折率プロファイルを有する分散シフト光ファイバにおいて、第1サイドコア2の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 2$ を -0.15% 未満とするか、または、内部クラッド4の外部クラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 4$ を -0.20% 未満とするか、あるいは、これらの比屈折率差 $\Delta 2$ 、 $\Delta 4$ の両方を同時に -0.1% 未満とすると、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における曲げ直径 20mm での曲げ損失が $20\text{dB}/\text{m}$ を越えた大きな値となり、曲げ特性が悪くなることが分かった。そこで、本実施形態例では、表2に示したように、 $\Delta 2$ と $\Delta 4$ の両方を同時に -0.1% 未満としないようにした。

【0036】なお、このように比屈折率差 $\Delta 2$ と比屈折率差 $\Delta 4$ とを決定したとき、比屈折率差 $\Delta 1$ の値は、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ が望ましく、比屈折率差 $\Delta 3$ の値は、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ であることが望ま

【0029】なお、各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ は、真空の屈折率を1としたときのセンタコア1の比屈折率を n_1 、第1サイドコア2の比屈折率を n_2 、第2サイドコア3の比屈折率を n_3 、内部クラッド4の比屈折率を n_4 、外部クラッド5の比屈折率を n_5 としたとき、次式(3)～(6)により定義されるものであり、その単位は、前記の如く、%である。

【0030】

しいことが分かったので、本実施形態例においては、上記 $\Delta 1$ および $\Delta 3$ の値を表2の通りとした。

【0037】さらに、本実施形態例の分散シフト光ファイバは、センタコア1の径が $3 \sim 8\mu\text{m}$ で、第1サイドコア2の径がセンタコア1の径の 1.3 倍 ~ 2.5 倍、第2サイドコア3の径がセンタコア1の $2.5 \sim 4$ 倍、内部クラッド4の径が $14 \sim 48\mu\text{m}$ であって、かつ、センタコア1の径の $4.5 \sim 8$ 倍と成している。

【0038】なお、本実施形態例では、内部クラッド4の組成を外部クラッド5の組成と実質的に同一としてもよい。この場合は、比屈折率差 $\Delta 4 \approx 0$ となり、内部クラッド4が実質的に存在していないことになる。また、内部クラッド4の径も存在しないことになる。すなわち、本実施形態例の分散シフト光ファイバは、内側か

ら、センタコア1、第1サイドコア2、第2サイドコア3、外部クラッド5の順で構成することもできる。

【0039】さらに、本実施形態例の分散シフト光ファイバは、外部クラッド5は純石英により形成されており、上記屈折率プロファイル構成を実現するために、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4は、いずれも純石英にゲルマニウム(Ge)とフッ素(F)をドーブして形成しており、かつ、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4にそれぞれドーブされているゲルマニウムの単位体積当たりのドーブ量は互いに異なるようにした。

【0040】本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例の分散シフト光ファイバを製造する際、本発明者は、例えば図2に示すように、複数(図では4つ)のバーナ7を用いて、センタコア1と第1サイ

ドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4を全部VAD法により製造して多孔質母材を形成した。なお、前記各バーナ7からは、それぞれ SiCl_4 、 GeCl_4 、 H_2 、 O_2 の混合ガスを噴出させており、このガスにおける GeCl_4 の濃度を各バーナ7で異なる濃度としている。

【0041】その後、上記のように形成した多孔質母材を表3に示すガラス化条件により透明ガラス化し、この

透明ガラス化の際に、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4にフッ素をドーブし、さらに、内部クラッド4の外周側に外部クラッド5を外付け法により形成し、分散シフト光ファイバを製造した。

【0042】

【表3】

項目	条件
ガラス化温度 (°C)	1500
He流量 (l/min.)	20
Cl_2 流量 (l/min.)	0.2
SiF_4 流量 (l/min.)	0.25

【0043】以上のようにして製造された本実施形態例の分散シフト光ファイバの特性を評価したところ、例えば表4に示すように、モードフィールド径が $8.4\mu\text{m}$ であり、モードフィールド径が $8.2\mu\text{m}$ 以上という要求特性を満足し、かつ、使用波長帯域（波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯；例えば波長 $1.53\mu\text{m}$ ～ $1.58\mu\text{m}$ ）における分散スロープが $0.04\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ であり、分散スロープが $0.11\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であるといった要求特性を満足し、さらに、分散スロープは

$0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であるといった、より一層望ましい要求特性を満足している。そして、前記使用波長帯域において波長分散も小さく、波長多重伝送用として用いたときに、非線形効果や偏波分散や波長分散により生じる信号光の波形歪みを低減することができる分散シフト光ファイバであることが確認された。

【0044】

【表4】

項目	代表値	要求特性
モードフィールド径 (μm)	8.4	≥ 8.2
零分散波長 (μm)	1.585	約1.58
分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.04	≤ 0.06
カットオフ波長 (μm)	1.51	≤ 1.55
曲げ損失 (dB/m)	0.5	≤ 1.0

【0045】なお、表4において、曲げ損失は、曲げ半径 10mm 、測定波長 $1.55\mu\text{m}$ での値を示している。また、表4には、本実施形態例の分散シフト光ファイバの特性の代表値が示されているが、上記構成の本実施形態例の分散シフト光ファイバは、いずれもその要求特性を満足できるものであった。

【0046】また、本実施形態例では、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4を全部VAD法により製造しており、このVAD法により製造した多孔質母材をガラス化して、その周りに外部クラッド5を設けて分散シフト光ファイバを製造しており、少ない製造工程で非常に容易に分散シフト光ファイバを製造することができる。

【0047】さらに、本実施形態例では、前記VAD法による多孔質母材形成時に、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4にゲルマニウムをドーブしているために、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4にそれぞ

れドーブするゲルマニウムのドーブ量を互いに異なるように調節することが容易である。そして、多孔質母材の透明ガラス化の際にフッ素をドーブすることにより、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4にゲルマニウムとフッ素をドーブして、上記の屈折率プロファイル構造を容易に形成し、上記優れた効果を奏する分散シフト光ファイバを容易に、かつ、確実に形成することができる。

【0048】また、本実施形態例において、内部クラッド4の組成を外部クラッド5の組成と実質的に同一とした場合には、内部クラッド4へのゲルマニウムやフッ素のドーブを省略することができ、製造工程をさらに簡略化することができる。

【0049】図3には、本発明に係る分散シフト光ファイバの第2実施形態例の屈折率プロファイルが示されている。なお、同図においても上記第1実施形態例と同一名称部分には同一符号が付してあり、その重複説明は省略する。

【0050】本第2実施形態例の分散シフト光ファイバは上記第1実施形態例の分散シフト光ファイバとはほぼ同様に構成されており、本第2実施形態例の分散シフト光ファイバが上記第1実施形態例の分散シフト光ファイバと異なる特徴的なことは、センタコア1の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 1$ と、第1サイドコア2の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 2$ と、第2サイドコア3の外部クラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 3$ と、内部クラッド4の外部クラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 4$ との関係が、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ となるようにしたことである。

【0051】なお、表5に、本第2実施形態例の分散シフト光ファイバの屈折率プロファイル構造の代表値を示す。なお、本実施形態例でも、上記第1実施形態例と同様の理由で、 $\Delta 2 \leq 0$ 、 $\Delta 4 \leq 0$ 、かつ、 $\Delta 2$ と $\Delta 4$ の少なくとも一方が -0.05% 以下となるようにし、かつ、 $\Delta 2$ と $\Delta 4$ の両方を同時に -0.1% 未満としないようにした。

【0052】

【表5】

項目	代表値 (%)
$\Delta 1$	0.8
$\Delta 2$	-0.05
$\Delta 3$	0.4
$\Delta 4$	-0.15

【0053】本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例の分散シフト光ファイバを製造する際も、上記第1実施形態例と同様に、図2に示したように、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4を全部をVAD法で形成して多孔質母材とし、この多孔質母材を透明ガラス化した後、外部クラッド5を設けて形成した。

【0054】以上のようにして製造された本第2実施形態例の分散シフト光ファイバの特性を評価したところ、例えば表6に示すように、モードフィールド径が $10\mu\text{m}$ であり、モードフィールド径が $8.2\mu\text{m}$ 以上という要求特性を満足し、さらに、モードフィールド径は $9.5\mu\text{m}$ よりも大きいといった、より一層望ましい要求特性を満足しており、かつ、使用波長帯域（波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯；例えば波長 $1.53\mu\text{m}$ ～ $1.58\mu\text{m}$ ）における分散スロープが $0.106\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、分散スロープが $0.11\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるといった要求特性を満足している。そして、前記使用波長帯域において波長分散も小さく、波長多重伝送用として用いたときに、非線形効果や偏波分散や波長分散により生じる信号光の波形歪みを低減することができる分散シフト光ファイバであることが確認された。

【0055】

【表6】

項目	代表値	要求特性
モードフィールド径 (μm)	10.2	≥ 9.5
零分散波長 (μm)	1.583	約1.58
分散スロープ ($\text{ps/nm}^2/\text{km}$)	0.106	≤ 0.11
カットオフ波長 (μm)	1.51	≤ 1.55
曲げ損失 (dB/m)	0.8	≤ 1.0

【0056】なお、表6において、曲げ損失は、曲げ半径 10mm 、測定波長 $1.55\mu\text{m}$ での値を示している。また、表5には、本実施形態例の分散シフト光ファイバの特性の代表値が示されているが、上記構成の本実施形態例の分散シフト光ファイバは、いずれもその要求特性を満足できるものであった。

【0057】以上のように、本第2実施形態例も上記第1実施形態例と同様に、分散シフト光ファイバに要求されている要求特性を満足する優れた分散シフト光ファイバとすることができ、上記第1実施形態例と同様に、少ない製造工程で、容易に、かつ、確実に上記優れた効果を奏することができる分散シフト光ファイバを製造できるといった同様の効果を奏することができる。

【0058】なお、本発明は上記実施形態例に限定され

ることはなく様々な実施の態様を採り得る。例えば、上記各実施形態例では、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4を全部をVAD法で形成したが、これらは必ずしもVAD法で形成するとは限らないし、これらの一部をVAD法で形成してもよい。ただし、これらの一部または全部をVAD法で形成すると、分散シフト光ファイバの工程を少なくすることができ、本発明の分散シフト光ファイバが製造しやすくなるし、特に、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4を全部をVAD法で形成すると、本発明の分散シフト光ファイバをより一層容易に製造することができる。

【0059】また、上記各実施形態例では、外部クラッド5は純石英により形成されており、センタコア1と第

1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4は、いずれも純石英にゲルマニウムとフッ素をドーブして形成し、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4にそれぞれドーブされているゲルマニウムの単位体積当たりのドーブ量は互いに異なるようにしたが、分散シフト光ファイバを形成する各構成要素の組成は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。

【0060】例えば、センタコア1と第2サイドコア3にゲルマニウムをドーブすると、第1サイドコア2にもゲルマニウムが拡散するために、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3と内部クラッド4のうち、屈折率プロファイル構造を $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ とするときには、第1サイドコア2にゲルマニウムをドーブしないこともある。また、屈折率プロファイル構造を、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ とするときには、内部クラッド4にゲルマニウムをドーブしないで本発明の分散シフト光ファイバを形成することもできる。

【0061】ただし、隣の領域からのゲルマニウムの拡散を利用して本発明の分散シフト光ファイバを形成するよりも、各領域にそれぞれ互いに異なる量のゲルマニウムをドーブした方が、本発明の分散シフト光ファイバの特徴的な屈折率プロファイル構造を形成しやすいために、各領域にそれぞれ互いに異なる量のゲルマニウムをドーブすることが好ましい。

【0062】さらに、本発明の分散シフト光ファイバは、前記各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ の関係が、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ または、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ と成しており、かつ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ と成しており、さらに、 $\Delta 2 \leq -0.05\%$ と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満足し、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満足していればよく、各構成要素の径などは特に限定されるものではなく、上記のような屈折率プロファイルによって、分散シフト光ファイバに対する前記要求特性を満たす分散シフト光ファイバを形成することができる。

【0063】ただし、上記実施形態例のように、センタコア1の径が $3 \sim 8 \mu\text{m}$ で、第1サイドコア2の径がセンタコア1の径の1.3倍 ~ 2.5 倍、第2サイドコア3の径がセンタコア1の2.5 ~ 4 倍、内部クラッド4の径が $14 \sim 48 \mu\text{m}$ で、かつ、センタコア1の径の4.5 ~ 8 倍と成している光ファイバとすることにより、上記要求特性を満たす分散シフト光ファイバを、現在用いられている分散シフト光ファイバやシングルモード光ファイバと同様の大きさの光ファイバに形成することができ、したがって、現在用いられている光ファイバ製造技術を用いて、容易に、かつ、確実に上記要求特性を満たす分散シフト光ファイバを形成することができ

る。

【0064】なお、内部クラッド4が実質的に存在しないものにおいては、センタコア1の径が $3 \sim 8 \mu\text{m}$ で、第1サイドコア2の径がセンタコア1の径の1.3倍 ~ 2.5 倍、第2サイドコア3の径がセンタコア1の2.5 ~ 4 倍となるようにすることにより、上記要求特性を満たす分散シフト光ファイバを、現在用いられている分散シフト光ファイバやシングルモード光ファイバと同様の大きさの光ファイバに形成することができ、したがって、現在用いられている光ファイバ製造技術を用いて、容易に、かつ、確実に上記要求特性を満たす分散シフト光ファイバを形成することができる。

【0065】さらに、本発明の分散シフト光ファイバの屈折率プロファイル構造は、必ずしも図1または図3に示した構造とは限らず、前記各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ の関係が、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ または、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ と成しており、かつ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ と成しており、さらに、 $\Delta 2 \leq -0.05\%$ と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満たし、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満足していればよく、例えば図4の(a)、(b)に示すような構造や、センタコア1又は第2サイドコア3の少なくとも一方の屈折率分布が上に凸の放物線状となっている構造としてもよい。

【0066】

【発明の効果】本発明によれば、分散シフト光ファイバの屈折率プロファイル構造を様々に検討して得られた特徴的な構成にすることにより、モードフィールド径が大きく、かつ、使用波長帯域における分散スロープが小さい分散シフト光ファイバとすることができる。そのため、本発明の分散シフト光ファイバは、波長多重伝送用として用いたときに、非線形効果や偏波分散や波長分散により生じる歪みを低減することができる優れた分散シフト光ファイバとすることができる。

【0067】具体的には、光ファイバの外周側に設けられている外部クラッドに対するセンタコアの比屈折率差 $\Delta 1$ と、センタコアの外周側を覆う第1サイドコアの外部クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 2$ と、第1サイドコアの外周側を覆う第2サイドコアの外部クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 3$ と、第2サイドコアの外周側を覆う内部クラッドの外部クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 4$ をそれぞれ、 $0.75\% \leq \Delta 1 \leq 0.85\%$ 、 $-0.15\% \leq \Delta 2 \leq 0$ 、 $0.3\% \leq \Delta 3 \leq 0.5\%$ 、 $-0.2\% \leq \Delta 4 \leq 0$ とし、さらに、 $\Delta 2 \leq -0.05\%$ と $\Delta 4 \leq -0.05\%$ の少なくとも一方を満たし、かつ、 $\Delta 2 \geq -0.1\%$ と $\Delta 4 \geq -0.1\%$ の少なくとも一方を満足した状態で、光ファイバの各領域の比屈折率差 Δ の関係を、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2 \geq \Delta 4$ とすると、前記モードフィー

ルド径を $10\mu\text{m}$ 以上とし、前記分散スロープを $0.1\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下とすることができ、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 4 \geq \Delta 2$ とすると、前記モードフィールド径を $8.2\mu\text{m}$ 以上とし、前記分散スロープを $0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下とすることができ、

【0068】特に、センタコアの径が $3\sim 8\mu\text{m}$ で、第1サイドコアの径が前記センタコアの径の 1.3 倍 ~ 2.5 倍、第2サイドコアの径が前記センタコアの $2.5\sim 4$ 倍、内部クラッドの径が $14\sim 48\mu\text{m}$ で、かつ、前記センタコアの径の $4.5\sim 8$ 倍と成している本発明の分散シフト光ファイバによれば、現在用いられている光ファイバ製造技術を用いて、非常に容易に、かつ、確実に上記優れた効果を奏する分散シフト光ファイバを形成することができる。

【0069】また、本発明の分散シフト光ファイバにおいて、内部クラッドの組成を外部クラッドの組成と実質的に同一としたものにおいては、センタコアの径を $3\sim 8\mu\text{m}$ として、第1サイドコアの径が前記センタコアの径の 1.3 倍 ~ 2.5 倍とし、第2サイドコアの径を前記センタコアの $2.5\sim 4$ 倍とすることにより、上記と同様に、現在用いられている光ファイバ製造技術を用いて、非常に容易に、かつ、確実に上記優れた効果を奏する分散シフト光ファイバを形成することができる。

【0070】さらに、センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアと内部クラッドには、いずれもゲルマニウムとフッ素がドーブされており、前記センタコアと前記第1サイドコアと前記第2サイドコアと前記内部クラッドにそれぞれドーブされている前記ゲルマニウムの単位体積当たりのドーブ量が互いに異なる本発明の分散シフト光ファイバによれば、上記屈折率プロファイル構造を非常に容易に形成することができ、上記優れた効果を奏する分散シフト光ファイバをより一層容易に形成することができる。

【0071】また、センタコアと第1サイドコアと第2

サイドコアには、いずれもゲルマニウムとフッ素がドーブされており、前記センタコアと前記第1サイドコアと前記第2サイドコアにそれぞれドーブされている前記ゲルマニウムの単位体積当たりのドーブ量が互いに異なる本発明の分散シフト光ファイバも、同様に、上記屈折率プロファイル構造を非常に容易に形成することができ、上記優れた効果を奏する分散シフト光ファイバをより一層容易に形成することができる。

【0072】さらに、本発明の分散シフト光ファイバの製造方法によれば、センタコアと第1サイドコアと第2サイドコアと内部クラッドの一部又は全部をVAD法により製造することにより、VAD法を用いて非常に容易に上記優れた効果を奏する分散シフト光ファイバを容易に製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る分散シフト光ファイバの第1実施形態例の屈折率プロファイル(a)と横断面図(b)をそれぞれ示す構成図である。

【図2】本発明に係る分散シフト光ファイバの製造方法によりVAD法によって多孔質母材を形成する例を示す説明図である。

【図3】本発明に係る分散シフト光ファイバの第2実施形態例の屈折率プロファイルを示す構成図である。

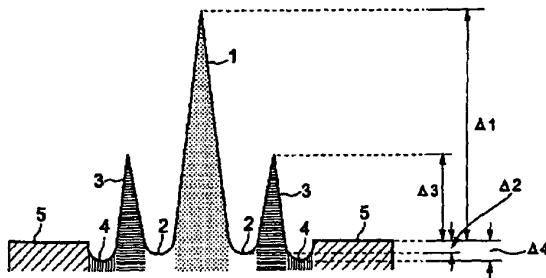
【図4】本発明に係る分散シフト光ファイバの他の実施形態例の屈折率プロファイルを示す構成図である。

【図5】従来の分散シフト光ファイバの屈折率プロファイルの一例を示す説明図である。

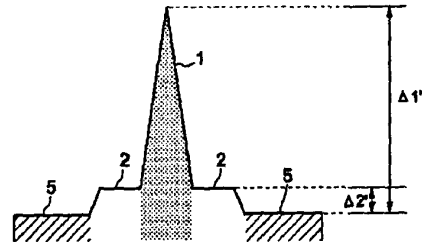
【符号の説明】

- 1 センタコア
- 2 第1サイドコア
- 3 第2サイドコア
- 4 内部クラッド
- 5 外部クラッド(クラッド)
- 7 バーナ

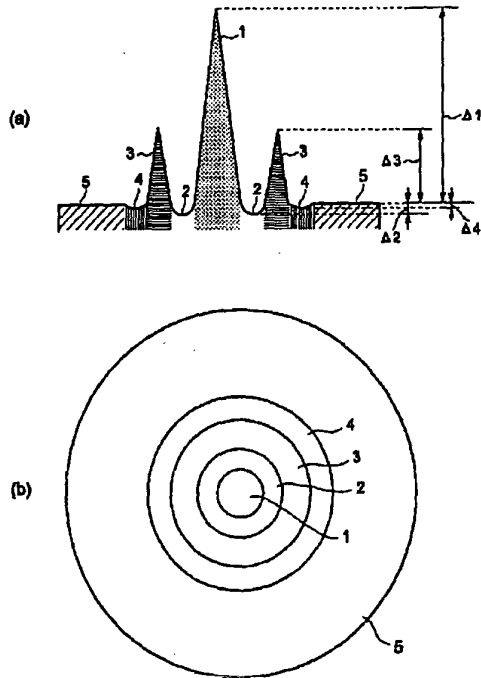
【図3】



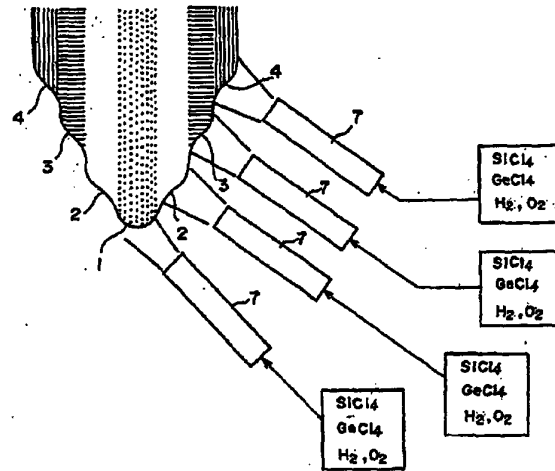
【図5】



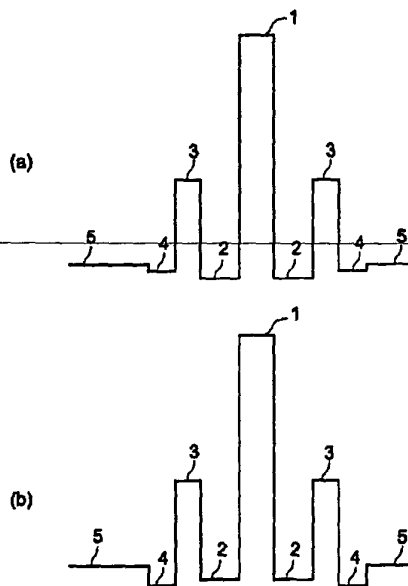
【図1】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H050 AA01 AB05X AB05Y AB10X
AB20X AC14 AC15 AC28
AC36 AC73 AC76 AD00
4G021 EA01 EB05
